



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

A pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás méréstechnika új típusú
mérőcsúcsok alkalmazásával történő továbbfejlesztése; lokális
mikrokörnyezeti koncentráció nyomon követésén alapuló
vizsgálatok

PhD értekezés tézisei

Varga Ágnes

Témavezető: Prof. Dr. Nagy Géza

Doktori Iskola vezető: Prof. Dr. Kilár Ferenc

Általános és Fizikai Kémia Tanszék
Kémiai Doktori Iskola

PÉCS
2013

1. Bevezetés

A szelektív elektrokémiai érzékelők a múlt század közepén indult intenzív kutatómunka eredményeként napjainkra a mennyiségi kémiai elemzés fontos, széles körben használatos eszközeivé váltak. Segítségükkel rendszerint különböző helyekről származó oldatok pH-ját, különböző ionkoncentrációját, elektroaktív anyag tartalmát mérik. Az ilyen hagyományos analitikai feladatok megoldására jól kezelhető méretű, robusztusnak mondható, hagyományos elektródokat használnak. Ezek mérőfelülete a néhány négyzetmilliméter és az egy-két négyzetcentiméter közötti tartományban található.

Felépítésük hasonló. A kézi íróeszközök mérettartományába eső, könnyen mérőcellába vezethető és rögzíthető elektródtestből, az annak végén képzett érzékelő felületből, valamint elektromos vezetékekből, érintkezőkből állnak. Különleges élettani-, elméleti- és méréstechnikai feladatok megoldására speciális mérőérzékelőket készítettek különböző iskolák. A speciális mérőérzékelők közé sorolhatjuk a mikroelektródokat.

Napjainkra a mikroelektródok készítésével, felépítésével, tulajdonságaik vizsgálatával és természetesen a velük megoldott feladatokkal igen nagyszámú közlemény foglalkozik. Méréstechnikai szempontból a mikroelektródok egyik legfontosabb előnyös tulajdonsága abban rejlik, hogy képesek igen kicsiny térfogatrészben kialakuló koncentráció viszonyokról információt adni. Ehhez járul az az előny, hogy kis méretüknek köszönhetően kevésbé zavarják a vizsgált közegben uralkodó viszonyokat. Más szóval kismértékű invázió okozása mellett működnek.

Nem véletlen ezek alapján, hogy az elektrokémiai mikro-érzékelők alkalmazásának egyik fő területe a kísérletes élettudományok. Az élettani vizsgálatok, az *in vivo* mérések igényeit figyelembe vevő követelmények a mikroelektródok fejlesztésére irányuló munka egyik fő hajtóerejét képezték és képezik napjainkban is.

Bard és Engstrom úttörő munkájának köszönhetően a mikroelektródok alkalmazásának egy fontos, új területe jelent meg a múlt század második felében. Kialakult a pásztázó elektrokémiai mikroszkópia (PEKM) angolul Scanning ElectroChemical Microscopy (SECM). Ez, mint a mérőcsúcs mikroszkópiás technika egyik újabb módszere mikroelektródot alkalmaz pásztázó mérőcsúcsként. A jól használható mérőcsúccsal szembeni követelményeket az élettani vizsgálatokban hatékony mikroelektródok nem megfelelő mértékben elégítik ki. Különösen igaz ez az ultramikro ion-szelektív elektródok esetében.

A Pécsi Tudományegyetem Általános és Fizikai Kémia Tanszékén intenzív kutatások folynak a pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás módszerek fejlesztésével, alkalmazási

területének kibővítésével kapcsolatban. A PTE Természettudományi Karának Kémiai Doktori Iskolájában végzett tanulmányaim során bekapcsolódtam a Tanszéken folyó ez irányú kutatómunkába.

A munkában célom volt a pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás vizsgálatokban jól használható, szelektív mikroelektródok kifejlesztése, azokat alkalmazó egyes újszerű módszerek kidolgozása, a kémiai mikroszkópiás módszer alkalmazási területének szélesítése, új alkalmazási lehetőségek tanulmányozása. A kísérletekbe célszerű volt mind ion-szelektív mikroelektródokat, mind molekula szelektív bioszenzorokat bevonni.

A munkához rendelkezésre állt a Tanszéken korábban megépített pásztázó elektrokémiai mikroszkóp. Lehetőségem volt korszerű elektrokémiai mérőállomások és mikroelektród-készítési technikák használatára. Támaszkodhattam a kutatócsoport korábbi tapasztalataira.

Anyagtranszport sajátságok és korróziós folyamatok vizsgálata területén látszott célszerűnek megvizsgálni a továbbfejlesztett mérőcsúcsokkal történő kémiai mikroszkópiás mérés technika alkalmazásának lehetőségeit, előnyeit.

A dolgozat a területen végzett kutatómunkám eredményeiről ad áttekintést.

2. Irodalmi háttér

Mikroelektródok

A „mikroelektród” elnevezést igen széles körben használják különböző kutatási területeken különböző eszközökre és berendezésekre.

Napjainkban a mikroelektród név rendszerint a néhány mikrométer mérőfelület átmérőjű érzékelőre utal, ultramikro-, illetőleg nanoelektród névvel szokás illetni a mikrométer körüli vagy annál kisebb elektrodokat.

A mikroszondákkal és mikroérzékelőkkel kapcsolatos munkában különböző tudományterületeken dolgozó kutatók vesznek részt. A szenzorok készítése során gyakran alkalmaznak magas technológiai lépéseket, mint például fotolitográfias struktúra kialakítást vagy lézer eszközös megmunkálást. A mikroelektródok különféle típusairól szóló évente megjelenő közlemények száma rohamosan nő.

A voltammetriás mikroelektródok és az ion-szelektív elektrodok mikrométerű verziói a leggyakrabban tanulmányozott és legjobban ismert elektroanalitikai mikroszenzorok. Készítésükről

számos részletesen leírt, könnyen elsajátítható, reprodukálható módszer található a szakirodalomban.

PEKM (Pásztázó elektrokémiai mikroszkópia)

A mikrovilág vizsgálatának fontos eszközei a mikroszkópok. A hagyományos mikroszkópok elektromágneses hullám és a vizsgált céltárgy kölcsönhatása nyomán adnak számot a céltárgy sajátosságairól. Az elektronmikroszkópia napjainkban is igen fontos, széles körben alkalmazott módszer.

Az 1980-as évek elején Binning és Rohrer svájci kémikusok munkája nyomán egy egészen újszerű mikroszkópiás módszer született, a pásztázó alagút mikroszkópia (PAM, angolul Scanning Tunneling Microscopy STM), melynek kifejlesztését rövidesen más pásztázó mérőcsúcson alapuló módszerek követték. Elsőként létrejött az atomerő mikroszkópia (AEM, angolul Atomic Force Microscopy, AFM). Az elektrokémikusok pedig kifejlesztették a saját vizsgálataikra alkalmas mérőcsúcs mikroszkópiás módszert, a pásztázó elektrokémiai mikroszkópiát (PEKM). A fejlesztő munkában két kutatócsoport végzett úttörő munkát. Engstrom és Bard kutatócsoportja. A módszer nevét is Bard adta.

A Pécsi Tudományegyetemen, az Általános és Fizikai Kémia Tanszék laboratóriumaiban két pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás készülék kialakítására került sor a korábbiakban. Az illető kémiai mikroszkópok három fő részből állnak, egy elektrokémiai mérőállomásból, egy mozgató egységből, és a mérőcellából. A készülékhez számítógép és optikai kamera csatlakozik.

A mikroszkóp működése során a mikroszkóp mikrométerű elektrokémiai érzékelője, mérőcsúcsa a mérési program által meghatározott úton, sorrendben és sebességgel, felkeresi a mérőcellában lévő mérési célpontokat. Ott az illető hely kémiai környezetét jellemző jelet képez. A számítógép tárolja az illető mérési pont koordinátaiból és a hozzájuk tartozó kémiai jelekből álló adatmezőt. Ennek értékelésével készíti el a kémiai mikroszkópiás képet.

Az egyik, a Tanszéken épített mikroszkóp pozicionáló egysége mechanikus léptető motorokon alapul. A legkisebb lépés hossz ez esetben 75 nm. A másik készülék piezoelektromos nagyfelbontású lineáris motorokra épül. Ez lehetővé teszi a nanométer tört része hosszúságú lépések alkalmazását is.

A pásztázó elektrokémiai mikroszkóppal nagy felbontású, kémiai információt hordozó mikroszkópiás kép készíthető különböző céltárgyakról, felületekről. A módszer segítségével koncentráció profilok is megjeleníthetők. Segítségével meghatározható különböző anyagok adott

időben jelentkező lokális koncentrációja biológiai rendszerekben, katalitikus sajátságú felületek közelében, gélekben, filmekben.

A pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás technika (PEKM) korróziós folyamatok tanulmányozására szolgáló alkalmazásáról számos közlemény szól. A PEKM-mel kémiai információt tartalmazó, nagy felbontású képeket készíthetünk. Információt nyerhetünk különböző folyadékfázisokban, határfelületek, aktív centrumok közvetlen közelében kialakuló koncentráció profilokról. A legtöbb PEKM kísérlet amperometriás detektálást és voltammetriás ultramikroelektródót alkalmaz mérőcsúcsként. Ion-szelektív elektródos mérőcsúccsal azonban lehetőség kínálkozik az alkalmazható potenciál ablakban elektroaktivitást nem mutató anyagfélések koncentrációjának szelektív detektálására.

A potenciometriás PEKM technika alkalmazhatóságának igazolására Bard és munkatársai mikrométerű cinkion-szelektív elektródót készítettek. Azzal pásztázva kisméretű cink-ion forrás felett sikerrel jelenítették meg mikroszkópiás kép formájában a kidiffundáló cink-ionok térbeli koncentráció eloszlását. Baston és munkatársai a közelmúltban egy új cinkion-szelektív mikroelektródót alkalmaztak korróziós folyamatok tanulmányozására.

Diffúziós koefficiens-mérés elektrokémiai módszere

Különböző anyagoknak különböző közegekben, különböző feltételek mellett mutatkozó diffúziós sajátsága fontos anyagi tulajdonság. A diffúziós anyagtranszport meghatározó jelentőségű egyes élettani folyamatokban, környezetszennyező anyagok terjedésében, heterogén katalízist, biotechnológiai lépéseket alkalmazó ipari folyamatokban, elektroanalitikai mérések, elektrokémiai vizsgálatok, technológiai lépések alkalmazása során. Amint az jól ismert, a diffúziós anyagtranszport jellemzésére a diffúziós koefficiens használatos. Ennek megfelelően a diffúziós koefficiens értékének meghatározása kiemelt fontosságú. Napjainkig számos diffúziós koefficiens-mérésre szolgáló módszer kidolgozására, alkalmazására került sor. Elektroaktív anyagok diffúziós koefficiensének mérésére előnyösen alkalmazhatók különböző elektrokémiai módszerek.

Az elektródreakció során mért adatokból történő diffúziós koefficiens-mérés csak abban az esetben ad megbízható eredményt, ha az elektródreakció sebesség-meghatározó lépése a diffúziós anyagtranszport és más, a körülményeket jellemző adatok pontosan ismertek. Sok esetben az elektródfolyamat komplikált. Lassú kémiai átalakulások, lassú adszorpció, deszorpció folyamatok, elektród passzíválás bizonytalanná teszik a diffúziós koefficiens mérését.

Általánosan használható és viszonylag egyszerűen elvégezhető, gyors eredményt adó módszer a repülési idő, azaz „time of flight” módszer. Ennek alkalmazásához mikrométerű detektor és mikrométerű anyagdózis beadását lehetővé tevő eszköz, forrás szükséges.

A módszer alkalmazásakor a detektor válaszidejénél lényegesen nagyobb repülési időt biztosító, jól ismert távolságba helyezzük a detektort a forrástól az illető közegben (oldat, gél, üledék stb.). Adott, pontosan regisztrált időpillanatban a forrásból igen kicsi, a vizsgálandó anyagot megfelelő koncentrációban tartalmazó oldatcseppecskét bocsátunk ki. A kibocsátott anyag rezgésmentes térben szférikus diffúzióval tovaterjed. Az illető anyag koncentrációját szelektíven jelző detektoron mért jel – idő függvény csúcs alakú, mutatván hogy a diffundáló anyag megérkezik a detektor felületére, majd tovább terjedve koncentrációja lecsökken az illető helyen.

Feltételezve, hogy a kibocsátott csepp sugara elhanyagolható a forrás – detektor távolsághoz képest, egyszerű egyenlet vezethető le a kibocsátási idő és a csúcs megjelenési ideje közötti repülési idő, Δt_{max} értékére. Az illető, a diffúziós koefficiens kiszámítását lehetővé tevő összefüggés a szférikus diffúzió általános egyenletéből (1) kiszámítható. Amint az ismeretes, ha pontszerű forrásból M mólnyi anyag $t=0$ időpillanatban indulva a gömbi diffúziós transzport sajátosságait követve terjed homogén közegben, akkor az illető anyag koncentrációja t időpillanatban a forrástól d távolságban ($C_{d,t}$) az alábbi egyenlettel adható meg.

$$C_{d,t} = \frac{M}{8(\pi Dt)^{3/2}} \exp\left(-\frac{d^2}{4Dt}\right) \quad (1)$$

Egy adott d távolságban az egyenlet alapján meghatározhatjuk a koncentráció maximum (C_{max}) megjelenésének (t_{max} illetve Δt_{max}) idejét. A (1) függvény első, t szerinti deriváltját képezve, majd azt egyenlővé téve nullával, kapjuk a (2) egyenletet.

$$\begin{aligned} 0 = \frac{dc}{dt} &= M \frac{\left[\exp\left(\frac{-d^2}{4Dt}\right) \times \frac{d^2}{4Dt^2} \times 8(\pi Dt)^{3/2} \right] - \left[\exp\left(\frac{-d^2}{4Dt}\right) \times 8 \frac{3}{2} (\pi D)^{3/2} \times t^{1/2} \right]}{64(\pi Dt)^3} \\ &= M \frac{\left[\exp\left(\frac{-d^2}{4Dt}\right) \times 8(\pi Dt)^{3/2} \left[\frac{d^2}{4Dt} t^{3/2} - \frac{3}{2} t^{1/2} \right] \right]}{64(\pi Dt)^3} \quad (2) \end{aligned}$$

A kifejezés csak úgy lehet nulla, ha a számláló második tényezője nulla. Tehát ebből igen egyszerű összefüggés adódik (3).

$$D = \frac{d^2}{6\Delta t_{\max}} \quad (3)$$

A forrástól mért d távolság, a diffúzió kezdete és a koncentráció maximum megjelenése közötti Δt_{\max} idő ismeretében az illető anyag diffúziós koefficiense kiszámítható.

A pásztázó elektrokémiai mikroszkóp képes jól ismert lépésekben változtatni a mérőcsúcshelyzetét. Ez lehetőséget biztosít a távolságmérés bizonytalanságából eredő hiba csökkentésére. Nem ismerjük pontosan az eredetileg beállított d távolságot. Azonban a mikroszkóp képes akár nagyszámú $d \pm n_i \Delta x$ távolságot biztosítani, ahol n_i a lépés szám, Δx egy lépés hossza. Mérve $\Delta t_{i, \max}$ értékeit különböző $n_i \Delta x$ alkalmazása mellett d kiszámítható, illetőleg a d pontos ismeretéből származó diffúziós koefficiens-mérés hibája jelentősen csökkenthető.

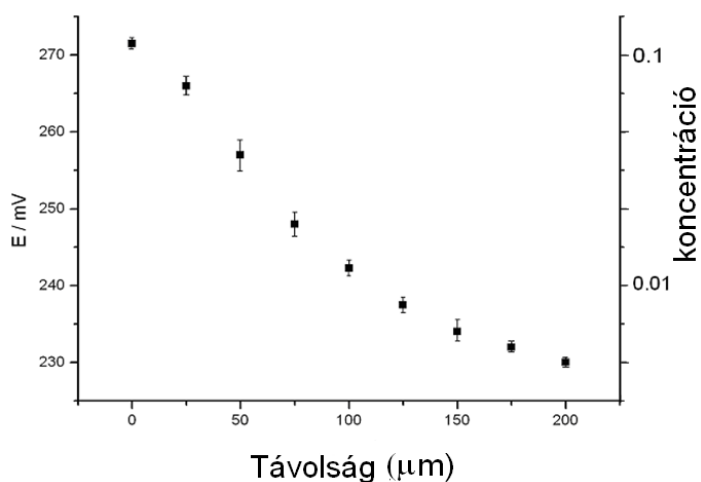
$$D = \frac{(d + n_1 \Delta x)^2}{6\Delta t_{1, \max}} = \frac{(d + n_2 \Delta x)^2}{6\Delta t_{2, \max}} \quad (4)$$

A (4)-es egyenletbe egyszerűen beírva több n_i mellett kapott $\Delta t_{i, \max}$ értékeket könnyen kiszámítható d pontos értéke. Ebből pedig az adott anyag diffúziós együtthatójára nyerhetünk megbízhatóbb értéket.

3. Kísérleti módszerek, eredmények

Korróziós vizsgálatok cinkion-szelektív mikropipetta elektróddal

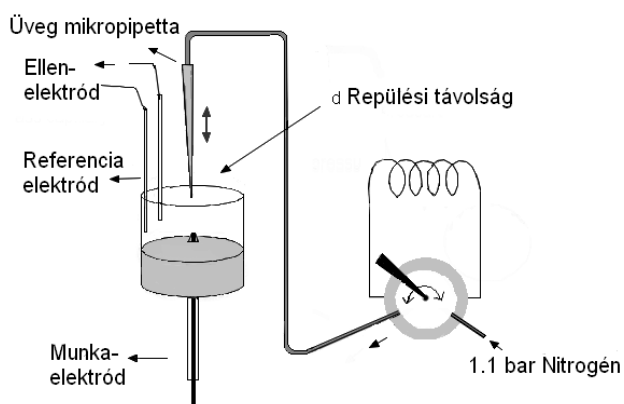
A vas elektrokémiai korróziós folyamata során első lépésben Fe^{2+} ionok mennek oldatba, míg a fém felületen az oldatban lévő oxigén redukálódik. A vassal érintkező fémes cink önfeláldozó módon képes katódos korrózióvédelmet biztosítani. A folyamat során a cink oxidálódik. Az oxidáció során az anódtérben keletkező fémionok az oldatba diffundálnak. A mikroszkóp segítségével így alkalmam volt a cink fém oxidációja során bekövetkező cink-ion koncentráció profil tanulmányozására. Ezzel a pásztázó elektrokémiai mikroszkóp és az általam készített cinkelektrod alkalmazhatósági területéről szereztem információt. A munka során az elektromos kontaktus létesítése után rövid idővel a cink korong felület fölé pozicionált mikropipetta elektród potenciál válasza egyértelműen jelezte a lokálisan megnövekedett cink-ion koncentrációt.



1. ábra Elektródpotenciál és cink-ion koncentráció ábrázolása a távolság függvényében. Az értékek a cink korong közepe feletti vertikális, Z irányú pásztázásra vonatkoznak.

Diffúziós koefficiens mérése PEKM készülékkel. Repülési idő (TOF) -módszer alkalmazása

A különböző anyagoknak különböző közegekben mutatkozó diffúziós transzportját jellemző diffúziós koefficiens fontos fizikai kémiai anyagállandó. A diffúziós koefficiens mérése sok esetben hosszadalmas lehet. A repülési idő módszer lehetőséget kínál a mérés gyors elvégzésére.



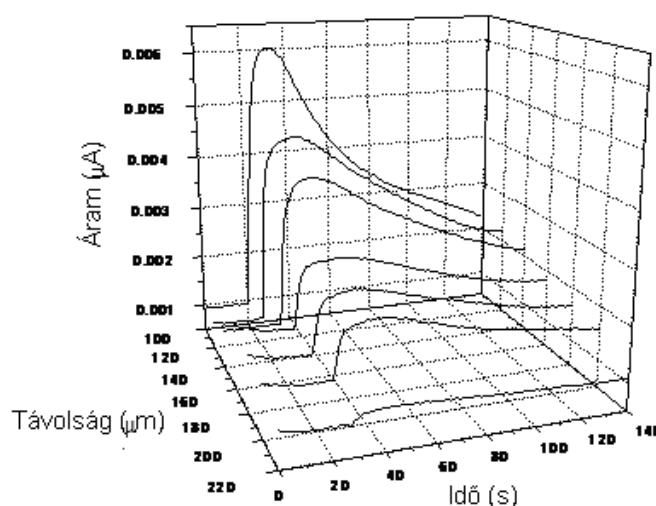
2. ábra PEKM repülési idő (TOF) módszer során alkalmazott elrendezés vázlatos rajza

A metildopa elektroaktív anyag, így voltammetriásan jól mérhető platina munkaelektrod alkalmazásával. A metildopát a klinikai gyakorlatban mint fontos vérnyomás csökkentő szert alkalmazzák, így bizonyos szempontból fontos adat lehet annak diffúziós koefficiense. Kísérleteimben mértem az α -metildopa diffúziós koefficiensét mind 0,8 %-os agaróz gélben mind foszfát puffer (PBS) oldatban.

Távolság ($n_i \Delta x$) (μm)	$t_{\text{max}}/\text{sec}$	PBS $D/10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$	Távolság ($n_i \Delta x$) (μm)	0,8% agaróz gél $D/10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$
0	111,02	5,38	0	2,41
40	127,01	5,42	20	2,45
80	143,04	5,4	40	2,43
120	160,02	5,41	60	2,7

1.táblázat α -metildopa diffúziós koefficiens értékei 7,4 pH-jú foszfát pufferben és 0,8%-os agaróz gélben (+0,4V-on – AgCl referencia elektród, Pt ellenelektrod, 0 μm tetszőleges távolság a forrás és a detektor között)

A β -D(+)-glükóz különböző közegekben mutatkozó diffúziós koefficiense fontos adat. Ugyanakkor az illető diffúziós koefficiens voltammetriás módszerrel történő mérése nehézségbe ütközik. Egyrészt a glükóz savas és semleges közegben nem mutat elektroaktivitást a voltammetria gyakorlatában általánosan használt munkaelektrodokon, az azokkal vizes oldatokban elérhető potenciáltartományban, így semleges közegben (pH = 7,4) mikrométerű enzimelektroddal detektáltam a glükóz lokális, pillanatnyi koncentrációját. A korábban leírt repülési-idő kísérletet pH = 7,4 foszfát puffer oldatban, glükóz-mérő enzimelektrodos detektálással, különböző repülési távolságok alkalmazásával elvégezve nyertem a 3. ábrán látható áram – idő tranzienseket.



3. ábra Különböző repülési távolság (d) (illetőleg $d + n_i \Delta x$) mellett, 7,4 pH-jú foszfát pufferben kapott áram-idő tranziensek, detektálás 0,65V polarizációs feszültség mellett enzimelektroddal (3 elektródos rendszerben).

4. Tézisek

1. A tanszékünkön korábban kifejlesztett új típusú ion-szelektív mikropipetta elektródok mintájára cink-ionszelektív elektródot készítettem. Tesztelése során bizonyítottam annak megfelelő működését.
2. Elsőként alkalmaztam cink-ionszelektív mikropipetta elektródot pásztázó elektrokémiai mikroszkópos mérésekben korróziós vizsgálatokra. Korróziós felület felett pásztázva jól látható cink-ion koncentráció-növekedést mértem.
3. Korróziós kísérletekben saját készítésű antimon mikroelektródot alkalmaztam. Az oxidációs folyamatban résztvevő cink és a cinkkel elektromos kontaktusban levő vas felülete felett pásztázva mikroszkópiás képeket készítettem a lokális pH profilokról. Ezeken jól láthatóan elkülönül az oxidáció és a redukció területe.
4. Továbbfejlesztettem a repülési-idő detektáláson alapuló diffúziós koefficiens – mérés módszerét. Sikerült mikroméretű glükózmérő enzimelektródot alkalmazni glükóz diffúziós koefficiensének mérésére. Sikerült igazolnom, hogy a viszonylag lassú válaszü enzimszenzorral is jó eredmény érhető el pásztázó elektrokémiai mikroszkópos repülési-idő módszerrel.

5. Közlemények

Az eljárás témakörében készült publikációk:

1. Electrochemical time of flight method for determination of diffusion coefficients of glucose in solutions and gels. *Ágnes Varga, Gergely Gyetvai, Livia Nagy, Géza Nagy* Analytical and Bioanalytical Chemistry (2009) 394:1955–1963 **IF: 3.841**
2. Development of solid contact micropipette Zn ion selective electrode for corrosion studies *Ágnes Varga, Livia Nagy, Javier Izquierdo, István Bitter, Ricardo M. Souto, Géza Nagy* Analytical Letters Vol.44, Issue 18, (2011) 2876-2886 **IF:0.920**

3. Spatially-resolved measurement of electrochemical activity and pH distributions in corrosion processes by scanning electrochemical microscopy using antimony microelectrode tips *J. Izquierdo, L. Nagy, Á. Varga, J.J. Santana, G. Nagy, R.M. Souto*. *Electrochimica Acta* 56 (2011), pp. 8846-8850) **IF: 3.642**
4. Scanning electrochemical microscopy for the investigation of corrosion processes: measurement of Zn^{2+} spatial distribution with ion selective microelectrodes *J. Izquierdo, L. Nagy, Á. Varga, I. Bitter, G. Nagy, R. M. Souto*. *Electrochimica Acta* Volume 59, (2012) 398-403 **IF: 3.642**

Egyéb publikációk:

1. Facile, high yielding synthesis of deepened cavitands. A synthetic and theoretical study *Csók Zsolt; Kégl Tamás; Párkányi László; Varga Ágnes; Kunsági-Máté Sándor; Kollár, László*; *Supramolecular Chemistry* Vol.23 Issue 10 (2011) 710-719 **IF: 1.940**
2. Simultaneous Monitoring of the Transport of Anions and Cations across Polypyrrole Based Composite Membranes *Marceline N. Akieh, Ágnes Varga, Rose Marie Latonen, Stephen F. Ralph, Johan Bobacka, Ari Ivaska*. *Electrochimica Acta* Volume 56, Issue 10 (2011) 3507-3515. **IF: 3.642**
3. Analysis of CPD Ultraviolet Lesion Bypass in Chicken DT40 Cells: Polymerase eta and PCNA Ubiquitylation Play Identical Roles. *Varga A, Marcus AP, Himoto M, Iwai S, Szuts. D* *PLOS ONE* 7: (12) 10 p. Paper e52472. **IF: 4.092**

Összesített hatástényező: 21.719

Az eljárás témakörében készült nem referált konferencia absztraktok:

1. XXXII. KEN (Kémiai Előadói Napok) 2009. Október 26-28., Szeged, (előadás)
Varga Ágnes, Nagy Livia, Nagy Géza
Elektrokémiai repülési-idő módszer használata glükóz diffúziós együtthatójának meghatározására oldatban és gélben
2. MKN 2010 (Magyar Kémikus Napok) 2010. Április 27-29. Veszprém, (előadás)
Varga Ágnes, Nagy Livia, Nagy Géza
Kis ellenállású Zn ion-szelektív mikropipetta elektród korróziós folyamatok pásztázó elektrokémiai mikroszkóppal történő vizsgálatához
3. CECE 2009 (6th International Interdisciplinary Meeting on Bioanalysis) 2009. November 6-7. Pécs (poszter)
Ágnes Varga, Livia Nagy, Géza Nagy

4. IC-ANMBES 2010 (Analytical and Nanoanalytical Methods for Biomedical and Environmental Sciences) 2010.Június 18-20. Brasov, Románia (előadás)
Ágnes Varga, Lívia Nagy, Géza Nagy
Development of low resistance Zn ionselective micropipette electrodes for Scanning Electrochemical Microscopic investigation of corrosion processes
5. CECE 2010 (7th International Interdisciplinary Meeting on Bioanalysis)
Pécs, 2010. Október 5-6. (poszter)
Ágnes Varga, Javier Izquierdo, Lívia Nagy, Ricardo M. Souto, Géza Nagy
SECM study of corrosion measurement of Zn^{2+} with Ion Selective Microelectrodes
6. Bioszenzor Workshop III , 2010. Október 28-29. Pécs (előadás)
Varga Ágnes, Gyetvai Gergely, Javier Izquierdo, Nagy Géza
Kis ellenállású ion- szelektív mikropipetta elektródok SECM mérésekhez
7. MKE I. Nemzeti Konferencia, 2011. május 22-25. Sopron (előadás)
Varga Ágnes, Nagy Lívia, Juan José Santana Rodríguez, Nagy Géza
Kis ellenállású ion-szelektív mikropipetta elektródok kifejlesztése és alkalmazása korróziós folyamatok pásztázó elektrokémiai mikroszkópiás vizsgálatához

Egyéb:

1. MKE I. Nemzeti Konferencia, 2011. május 22-25. Sopron (poszter)
Ágnes Varga, Zsolt Csók, Tamás Kégl, László Kollár, Sándor Kunsági-Máté
Complex formation ability of functionalized cavitand derivatives towards 4-chloro-benzotrifluoride